МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE







УДК 620.179.18
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-3-242-251

Научная статья



Исследование параметров конических резьб, влияющих на качество соединения труб нефтяного сортамента

И. К. Цыбрий[1] ✉, **Н. С. Коваль**[1], **Ж. Н. Исабеков**[2]
[1] Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
[2] Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а
✉irconst@mail.ru

Аннотация
Введение. С ростом объемов добычи и транспортировки газа и нефти повышается актуальность проблемы герметичности соединения труб нефтегазового сортамента. Наиболее распространены муфтовые и безмуфтовые резьбовые соединения. Используются резьбы типа «Батресс», конические трапецеидальные и треугольные резьбы. От их качества напрямую зависит герметичность соединения. На процесс производства труб и муфт влияют многие факторы. В качестве примеров можно привести технологическую наследственность, жесткость технологического оборудования, его наладку и подналадку. Требуемое качество соединения обеспечивается качеством элементов. Сборка должна учитывать возможность полной взаимозаменяемости. Второй рекомендуемый вариант — групповая сборка. Во всех случаях обязательны контрольные операции. В работе приводятся результаты исследований распределения в партии параметров качества резьб труб и муфт.
Материалы и методы. Исследовались фрагменты (патрубки) обсадных труб с трапецеидальной резьбой и повышенной герметичностью (ОТТГ) и с трапецеидальной резьбой профиля «Батресс». Их произвольно выбрали из различных партий. При измерении образцы закреплялись в патрон токарного станка 1И611П. Средством измерения был индикатор часового типа 0 класса точности со стойкой. Для оценки полученных данных использовали общепринятые статистические методы.
Результаты исследования. Эксперименты позволили выявить, как на герметичность соединения методом полной взаимозаменяемости влияет радиальное биение поверхностей вершин профиля резьбы, фасок патрубка и уплотнительного пояска.
Обсуждение и заключения. Обнаружены существенные отклонения значений параметров резьбы от допустимых, что может стать причиной разгерметизации соединения. Получение качественного и надежного соединения возможно при сборке по методу неполной или групповой взаимозаменяемости.

Ключевые слова: соединение труб нефтяного сортамента, качество соединения, контроль качества, соединение «Батресс», соединение ОТТГ, радиальное биение поверхностей резьбы «Батресс», радиальное биение поверхностей резьбы ОТТГ.

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка материалов и предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества статьи.

Для цитирования. Цыбрий, И. К. Исследование параметров конических резьб, влияющих на качество соединения труб нефтяного сортамента / И. К. Цыбрий, Н. С. Коваль, Ж. Н. Исабеков // Advanced Engineering Research. — 2022. — Т. 22, № 3. — С. 242–251. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-3-242-251

Original article

Study of Tapered Threads Parameters Affecting the Quality of the Oil Pipeline Connection

Irina K. Tsybrii[1] ✉, **Nikolai S. Koval**[1], **Zhanibek N. Issabekov**[2]

[1] Don State Technical University, 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

[2] Satbayev University, 22, Satbaev St., Almaty, Republic of Kazakhstan

✉irconst@mail.ru

Abstract

Introduction. With the growth in the production and transportation of gas and oil, the urgency of the problem of tightness of the connection of pipes of the oil and gas range increases. The most common are coupling and streamline threaded connections. Threads of the buttress type, conical trapezoidal, and triangular threads are used. The tightness of the connection depends directly on their quality. The production of pipes and couplings is influenced by many factors. Examples include technological heredity, rigidity of technological equipment, its setting and resetting. The required connection quality is provided by the quality of the elements. The assembly should take into account the possibility of complete interchangeability. The second recommended option is a group assembling. In all cases, control operations are mandatory. The paper presents the results of studies on the distribution of pipe and coupling thread quality parameters in the batch.

Materials and Methods. Fragments (tubular parts) of casing pipes with trapezoidal thread and increased tightness (CPTT) and with trapezoidal thread of the buttress profile were studied. They were randomly selected from different batches. When measuring, the samples were fixed in the chuck of 1I611P lathe. The measuring instrument was a clock type 0 accuracy class indicator with a stand. Generally accepted statistical methods were used to evaluate the data obtained.

Results. The experiments have found how the tightness of the connection through the method of complete interchangeability is affected by the radial runout of the surfaces of the thread profile tops, the pipe chamfers, and the sealing belt.

Discussion and Conclusions. Significant deviations of the values of the thread parameters from the permissible ones were found, which might cause a leak in the connection. Obtaining a high-quality and reliable connection is possible when assembling by the method of incomplete or group interchangeability.

Keywords: OCTG connection, connection quality, quality control, buttress connection, CPTT connection, radial runout of buttress thread surfaces, radial runout of CPTT thread surfaces.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to reviewers, whose critical assessment of the materials and suggestions for their improvement contributed to a significant improvement in the quality of the article.

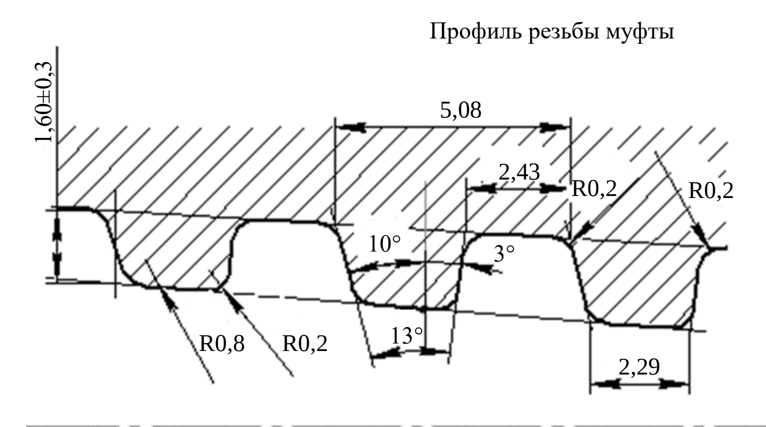
For citation. I. K. Tsybrii, N. S. Koval, Zh**.** N. Issabekov. Study of Tapered threads parameters affecting the quality of the oil pipeline connection. Advanced Engineering Research, 2022, vol. 22, no. 3, pp. 242–251. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-3-242-251

Введение. Ужесточение условий эксплуатации труб связано с усложнением профилей и увеличением глубин скважин на новых месторождениях нефти и газа. Трубы нефтяного и газового сортамента оказываются под действием значительных знакопеременных нагрузок при диапазоне рабочих температур от минус 60 °С до плюс 200 °С [1–6]. Рассматриваемые изделия должны удовлетворять требованиям по сопротивлению усталостному и хрупкому разрушению, а также коррозионной стойкости в условиях агрессивных сред. Это обусловливает выбор материалов для их производства. Значительная протяженность нефте- и газопроводов предполагает обеспечение надежного соединения труб. Отечественные производители предлагают муфтовые и безмуфтовые соединения с коническими трапецеидальными и треугольными резьбами [7–10]. В муфтовых выделяют типы:

– ОТТГ (для обсадных труб с трапецеидальной резьбой и повышенной герметичностью);

– с трапецеидальной резьбой «Батресс».

Соединение первого типа отличается высокой герметичностью и стойкостью к растягивающим нагрузкам. Эти качества обеспечивает форма профиля резьбы — неравнобедренная трапеция с шагом 5,08 мм и конусностью 1:16 (рис. 1).



Ось резьбы муфты ОТТГ и раструбного конца трубы ТБО



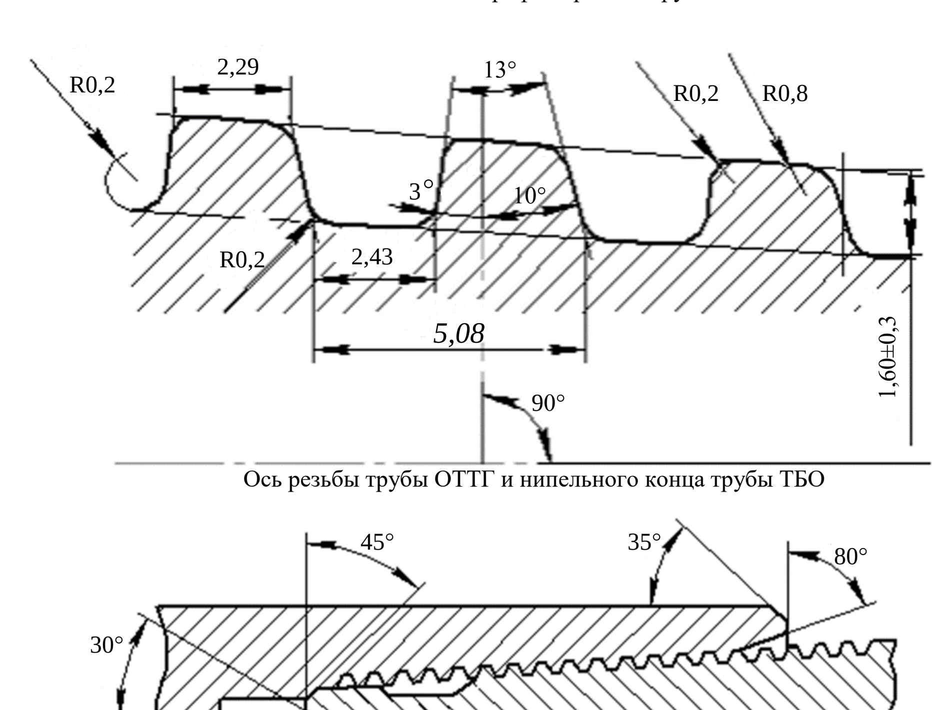


Рис. 1. Муфтовое соединение обсадных труб типа ОТТГ

Угол закладной стороны трубы в 10° обеспечивает легкую посадку в муфту и снижает вероятность заедания резьбы. При растягивающих и изгибающих нагрузках резьба трубы не должна выходить из зацепления с резьбой муфты, поэтому опорная сторона профиля выполнена под углом 3° [8–12]. Расположенные за резьбой сопряженные конические уплотнительные поверхности повышают герметичность. При соединении величина натяга ограничивается благодаря контакту изделий по внутренним упорным торцам. Уплотнительное кольцо из фторопласта повысит герметичность соединения [13].

Схема муфтового соединения с трапецеидальной резьбой типа «Батресс» представлена на рис. 2.

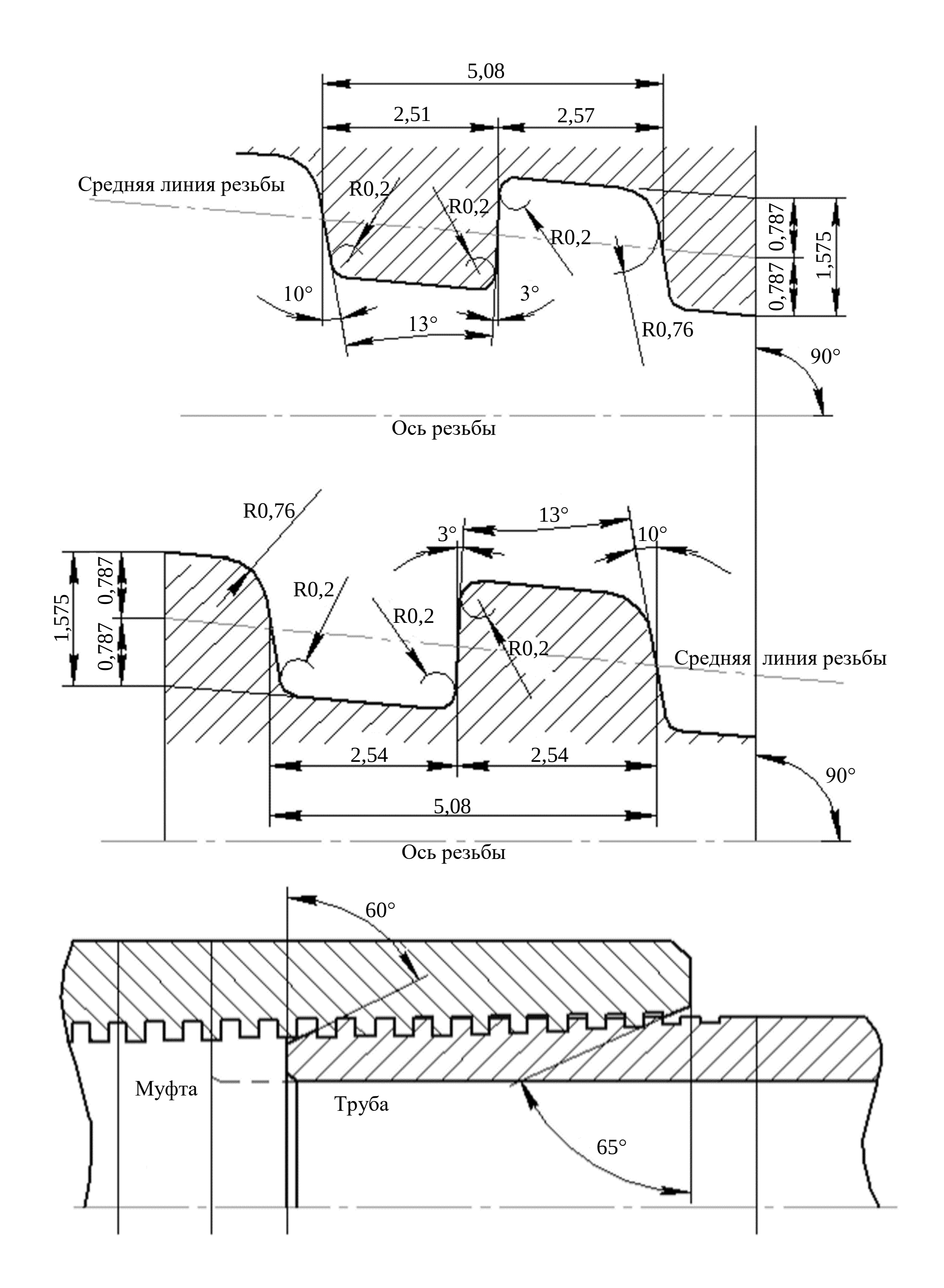


Рис. 2. Муфтовое соединение обсадных труб типа «Батресс»

Отличительная особенность этого типа соединения — возможность продолжительное время принимать значительные растягивающие нагрузки. Профиль резьбы «Батресс» имеет форму неравнобедренной трапеции с шагом 5,08 мм и конусностью 1:16 [14].

Углы наклона закладной и опорной стороны — 10° и 3° соответственно. Это упрощает сборку и снижает вероятность заедания. Для герметичности используют специальную смазку или фторопластовые кольца [15].

Основные требования к распространенным типам соединений обсадных труб:

– проходимость в стволах скважин различной сложности и глубины, в том числе на участках значительного искривления;

– герметичность колонн труб и высокая прочность для всех видов нагрузок;

– обеспечение прохода приспособлений и инструмента во внутреннее пространство колонн труб при технологических операциях.

Необходимо строго соблюдать требования стандартов к качеству резьбовых соединений, а также к средствам и методам контроля. Характеристики резьбовых соединений обсадных труб регламентируются

ГОСТ 632–80 и международным стандартом API 5B. Эти документы предписывают контролировать следующие параметры: внешний вид резьбы, геометрические параметры резьбы и уплотнительных конических поверхностей, натяг по резьбовому рабочему калибру.

Отметим, что не всегда совпадают формы сопрягаемых элементов трубы и муфты в поперечных сечениях. В этих случаях на некоторых участках сопрягаемые поверхности не будут контактировать, т. е. сопряжение останется неплотным. Это создает условия для течи в соединении. Если такой зазор не устранить с помощью силовой затяжки конических соединений, то невозможно обеспечить эффект кольцевого замка, который гарантирует герметичность. Таким образом, отклонения от конусности создают предпосылки для неплотностей и течей. В качестве примера рассмотрим соединения ОТТГ и «Батресс» трубы с наружным диаметром 127 мм. На участке 25,4 мм допустимые отклонения от конусности составляют соответственно: $^{+0,3}_{-0,2}$ мм и $^{+0,45}_{-0,25}$ мм.

Материалы и методы. Данные, полученные в рамках исследования, прошли статистическую обработку с использованием общепринятых методов.

Для определения степени герметичности годных труб измерили радиальное биение конических и цилиндрических поверхностей патрубков. Эти элементы закрепляли в обратных кулачках трехкулачкового токарного патрона (т. е. по поверхности базирования трубы на станке 1И611П) при условии минимизации упругих деформаций объекта от усилий зажима. Сначала кулачки патрона приводили в контакт с патрубком с усилием, достаточным для его удержания навесу, — так корректировали его осевое положение в патроне при прокручивании шпинделя. Визуально контролировали биение поверхностей. Затем в плоскости кулачков создавали контакт поверхности патрубка и закрепленного на стойке индикатора часового типа (рис. 3). Патрубок зажимали в кулачках патрона. По стрелке индикатора следили, чтобы усилие зажима не деформировало стенку патрубка между кулачками патрона.

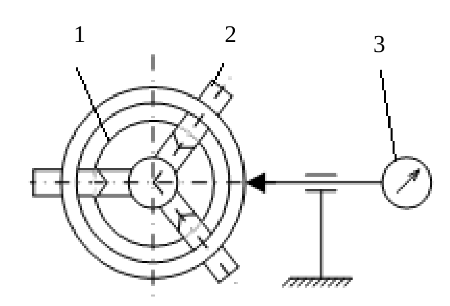


Рис. 3. Схема измерения радиального биения патрубков и муфт:
1 — изделие; 2 — трехкулачковый патрон; 3 — индикатор часового типа

Для измерения биения уплотнительного пояска и фаски суппорт станка со стойкой индикатора первоначально оставался неподвижным, а сферический наконечник индикатора устанавливался на середину пояска и середину фаски. Показания индикатора считывались и регистрировались поворотом шпинделя станка через каждые 10° (фиксировали в 36 сечениях, начиная с нулевого). Индикатор перемещался в осевом направлении детали, наконечник сохранял положение относительно центра фаски или пояска.

Измерили биение резьбовой поверхности по ленточке выступа резьбы. Для этого гитару и коробку подач станка настроили на дюймовую резьбу с пятью нитками на дюйм. После включения маточной гайки ходового винта прокручиванием шпинделя выбрали все мертвые хода в кинематике станка. При этом индикатор был настроен на середину ленточки первой нитки резьбы в нулевом сечении. Показания индикатора фиксировались через каждые 10° поворота патрубка во всех 36 сечениях на пяти нитках резьбы. В процессе измерения индикатор также перемещался в осевом направлении детали с сохранением положения наконечника относительно центра ленточки.

Результаты исследования. На рис. 4 в полярной системе координат представлены результаты измерения радиального биения наружных поверхностей патрубков с различными соединениями.

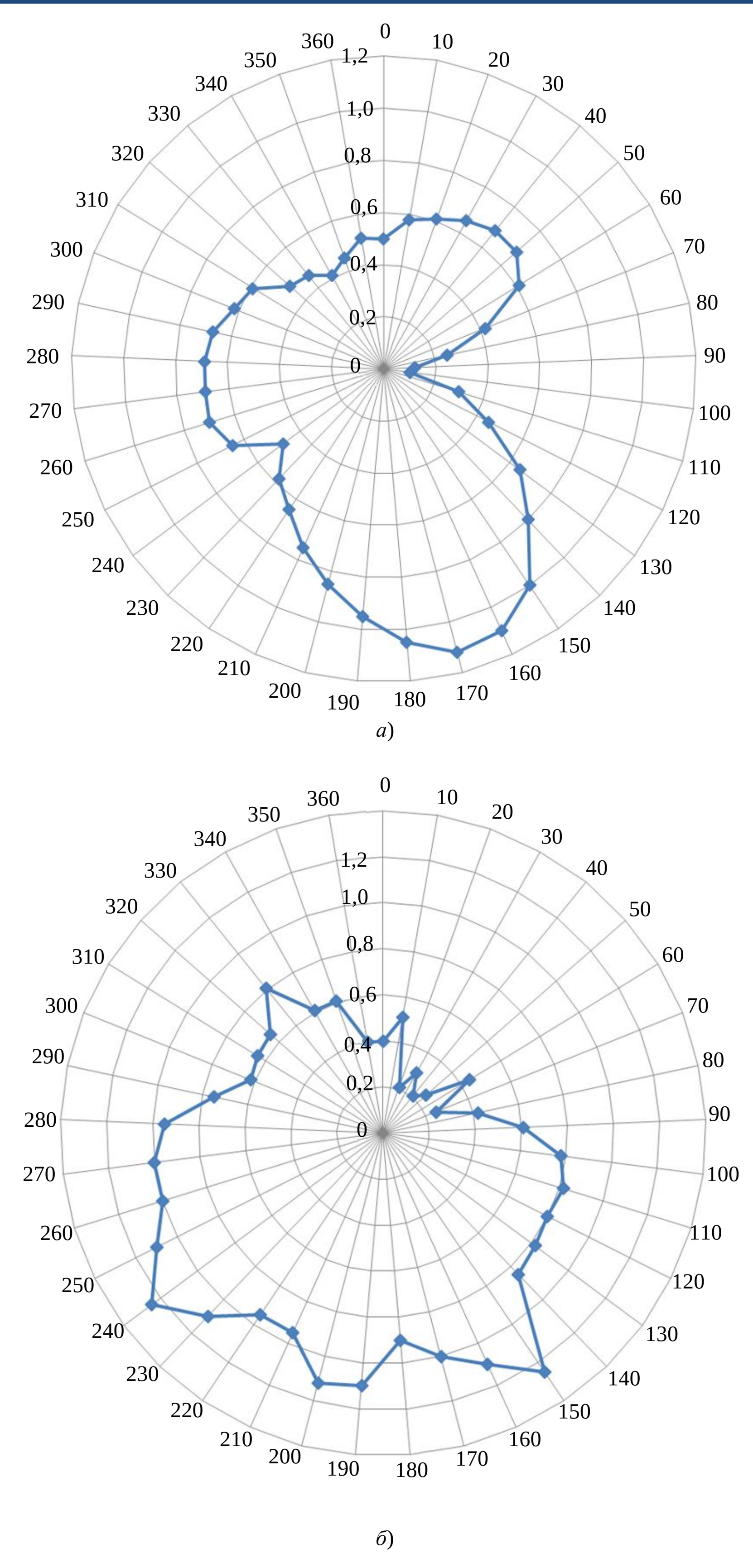


Рис. 4. Радиальное биение наружных поверхностей труб с резьбой: *а* — «Батресс»; *б* — ОТТГ

Для контроля конусности в поле допуска измерили отклонения вершин резьбы на пяти нитках от заданного профиля (спираль Архимеда) в радиальном направлении. Для патрубка «Батресс» по значениям измеренного радиального биения поверхности вершин резьбы построили график в полярной системе координат (рис. 5 *а*). Здесь радиальная шкала имеет значения от 0 до 2 мм, а круговая шкала — от 0° до 360°. Аналогично исследовали радиальное биение вершин выступов резьбы на патрубках ОТТГ (рис. 5 *б*).

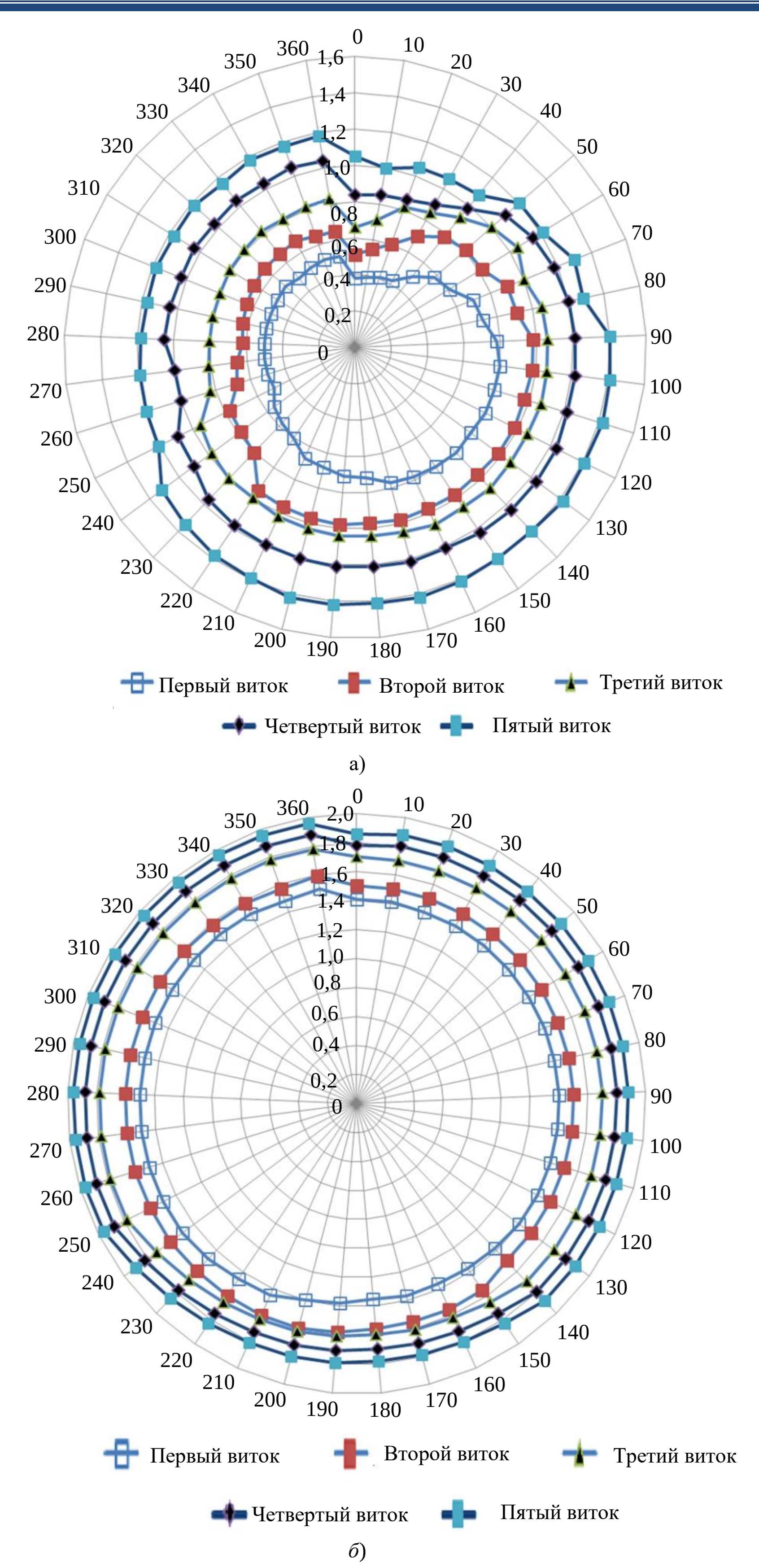


Рис. 5. Радиальное биение поверхности вершин резьбы от начала резьбы на пяти оборотах: *а* — «Батресс»; *б* — ОТТГ

Диаграмма (рис. 6 *а*) построена по результатам измерения радиального биения фасок патрубков с резьбой «Батресс». Значения радиального биения пояска отражены на графике 6 *б*, который демонстрирует отклонение от круглости уплотнительного пояска. Сопоставление полученных разными методами значений отклонения формы пояска от круглости показывает их идентичность.

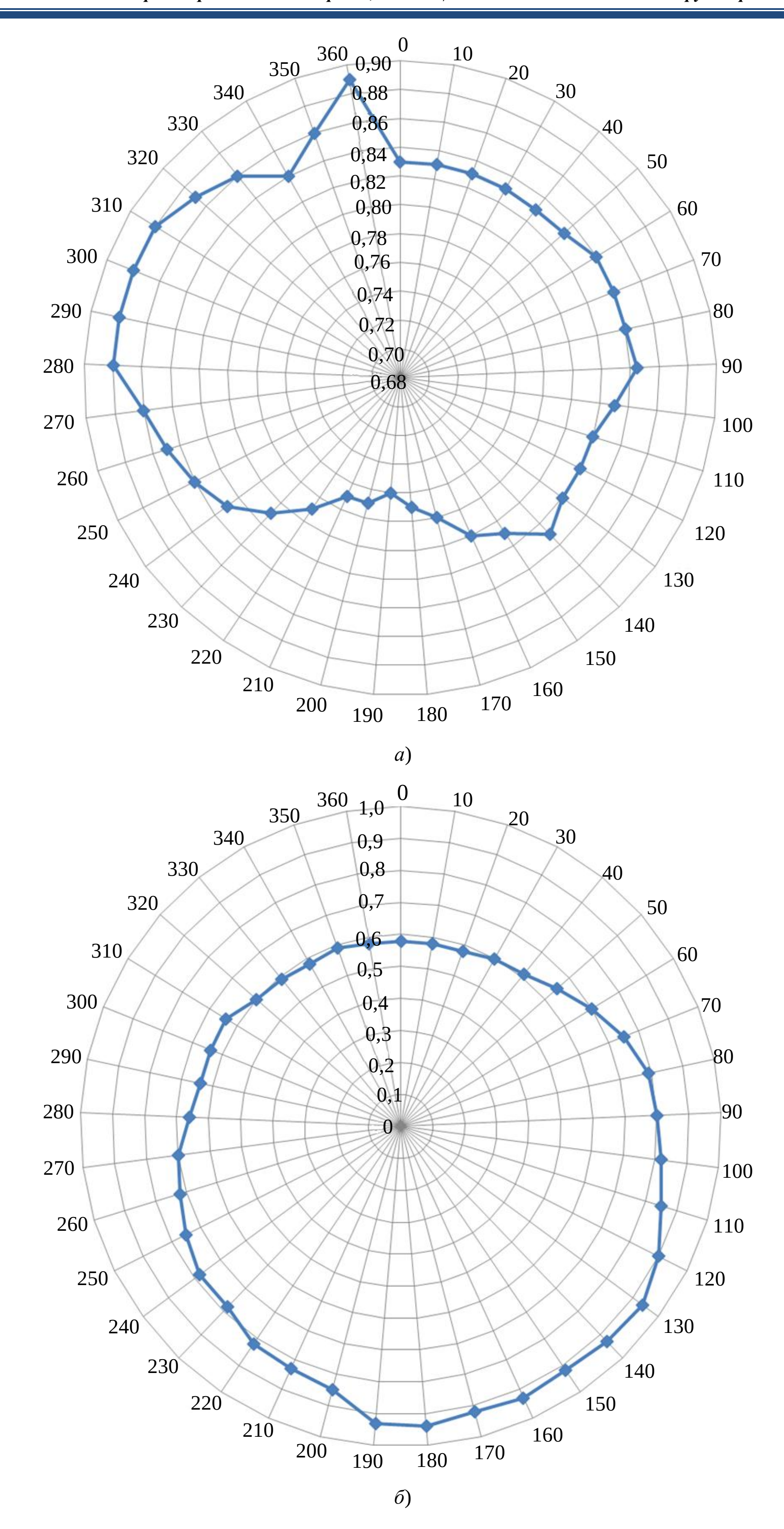


Рис. 6. Радиальное биение: *а* — фаски патрубка с резьбой «Батресс»; *б* — уплотнительного пояска соединения ОТТГ

Обсуждение и заключения. Анализ рис. 4 показывает, что для труб с различными типами соединений характерны значительные отклонения конусности. В то же время поверхность трубы с резьбой «Батресс» сравнительно гладкая. Если же диаграмма визуализирует резьбу ОТТГ, то наблюдаются резкие выбросы большого количества точек. Это значит, что на поверхности трубы есть грубый макрорельеф со значительными случайными перепадами уровня поверхности.

На рис. 5 *а* хорошо видна неплавность восходящей линии спирали с разностью радиусов-векторов более 0,4 мм. Волнообразное изменение линии ординат профиля — это следствие несовпадения оси вращения патрубков с осью резьбы. Эту гармоническую составляющую можно компенсировать специальной математической обработкой, которая не запланирована в настоящем исследовании. Анализ рис. 5 *б* показывает достаточно большую неплавность восходящей линии вершины резьбы. Это говорит о значительных отклонениях рассматриваемой поверхности от заданного профиля (спираль Архимеда) для соединения ОТТГ.

Анализ рис. 6 показывает, что отклонение от круглости (разность наибольшего и наименьшего радиусов-векторов биения) составляет около 0,25 мм. Погрешности формы уплотнительного пояска для соединения типа ОТТГ определены разными методами. По измеренным значениям диаметра пояска (в плоскости торца) обнаружена вариация размеров до 0,25 мм (от нулевого сечения, через 30°): 169,35; 169,20; 169,10; 169,15; 169,25; 169,30. Угловое распределение отсчетов диаметра указывает на овалообразную форму поверхности пояска в поперечном сечении.

Таким образом, можно сделать вывод о значительных отклонениях у поверхностей труб и муфт. Речь идет о качестве резьб, фасок, поясков, что определяет надежность соединения. Эти отклонения обусловливают появлениев партии бракованных изделий. Их использование не обеспечивает герметичность и надежность соединения «труба — муфта», что ведет к течи при гидравлических испытаниях. Достижение заданного качества соединения обеспечивается только методом групповой взаимозаменяемости, который требует предварительного разделения собираемых изделий на группы и генерирует дополнительные затраты. Необходимо ужесточить допуски на изготовление резьбовых частей труб и муфт, что позволит выполнять сборку методом полной взаимозаменяемости. Рассматриваемые отклонения могут возникать из-за нестабильности технологического процесса получения резьб. В частности, негативно сказывается недостаточная жесткость технологической системы и ее несвоевременная подналадка.

Список литературы

1. Failure and Integrity Analysis of Casings Used for Oil Well Drilling / G. P. Cirimello, L. Otegui, G. Carfi, W. Morris // Engineering Failure Analysis. — 2017. — Vol. 75. — P. 1–14. http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.11.008

2. Song, S. Optimizing Exoskeleton Assistance for Faster Self-Selected Walking / S. Song, S. H. Collins // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. — 2021. — Vol. 29. — P. 786–795. http://dx.doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3074154

3. Muscle-Tendon Mechanics Explain Unexpected Effects of Exoskeleton Assistance on Metabolic Rate during Walking / R. W. Jackson, C. L. Dembia, S. L. Delp, S. H. Collins // Journal of Experimental Biology. — 2017. — Vol. 220. — P. 2082–2095. https://doi.org/10.1242/jeb.150011

4. Non-destructive Testing Techniques Based on Failure Analysis of Steam Turbine Blade / Li Tian, Yan Hai, Zeng Qingyue, Yin Qin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — Vol. 576. — P. 012038. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/576/1/012038/meta

5. Experimental Study of Hoop Stress of Crescent Shaped and Eccentric Worn Casing / Yinping Cao, Yan Pan, Hongxue Mi [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 804. — P. 022014. http://doi.org/10.1088/1755-1315/804/2/022014

6. FE Simulation of Sealing Ability for Premium Connection Based on ISO 13679 CAL IV Tests / Yihua Dou, Yufei Li, Yinping Cao [et al.] // International Journal of Structural Integrity. — 2020. — Vol. 12. — P. 138–148. http://dx.doi.org/10.1108/IJSI-11-2019-0125

7. Analysis of the Performance Improvement Effect of Combined Packing for Oil and Gas Well Packer / Huifeng Liu, Wei Zhang, Yinping Cao, Yihua Dou // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 514. — P. 022017. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/514/2/022017

8. Prediction and Analysis of Wellbore Temperature and Pressure of HTHP Gas Wells Considering Multifactor Coupling /Jie Zheng, Yihua Dou, Yinping Cao, Xin Yan // Journal of Failure Analysis and Prevention. — 2020. — Vol. 20. — P. 23–28. http://dx.doi.org/10.1007/s11668-020-00811-2

9. YinhuaDou. An Experimental Study of Whirling Motion and the Relationship between Torque and Rotary Speed for Simulated Casing Drilling /Yinhua Dou, Stefan Miska, Yinping Cao // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. — 2020. — Vol. 56. — P. 285–299. http://dx.doi.org/10.1007/s10553-020-01138-2

10. Laboratory Study on Casing Deformation during Multistage Horizontal Well Fracturing in Shale Gas Development and Strain Based Casing Design / Shangyu Yang, Lihong Han, Jianjun Wang [et al.] // Journal of Natural

Gas Science and Engineering. — 2021. — Vol. 89. — P. 103893. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.103893

11. Failure Analysis of Casing Dropping in Shale Oil Well during Large Scale Volume Fracturing / Hang Wang, Wenlong Zhao, Zhenhui Shu [et al.] // Engineering Failure Analysis. — 2020. — Vol. 118. — P. 104849. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104849

12. Coupled Seepage-Mechanical Modeling to Evaluate Formation Deformation and Casing Failure in Waterflooding Oilfields / Lihong Han, Fei Yin, Shangyu Yang [et al.] // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2019. — Vol. 180. — P. 68–72. http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.035

13. Fatigue and Corrosion Fatigue Behaviors of G105 and S135 High-Strength Drill Pipe Steels in Air and H_2S Environment / Lihong Han, Ming Liu, Sheji Luo, Tian Jian Lu // Process Safety and Environmental Protection. — 2019. — Vol. 124. — P. 63–74. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.023

14. Mechanical Performance of Casing in In-situ Combustion Thermal Recovery /Shangyu Yang, Lihong Han, Chun Feng [et al.] // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2018. — Vol. 168. — P. 32–38. http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2018.04.068

15. Research on Well Trajectory Deduction Method Based on Pythagorean-Hodograph Quintic Space Curves / Yufei Li, Yinping Cao, Yuxue Liu [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — Vol. 688. — P. 033068. https://doi.org/10.1088/1757-899X/688/3/033068

Поступила в редакцию 01.08.2022
Поступила после рецензирования 29.08.2022
Принята к публикации 31.08.2022

Об авторах:

Цыбрий Ирина Константиновна, доцент кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, с. н. с., ORCID, irconst@mail.ru

Коваль Николай Сергеевич, доцент кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ResearcherID, ScopusID, ORCID, koval-nc@mail.ru

Исабеков Жанибек Назарбекулы, заведующий кафедрой «Промышленный инжиниринг» Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева (050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22 а), магистр технических наук, ORCID, zh.issabekov@satbayev.university

Заявленный вклад соавторов:

И. К. Цыбрий — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, корректировка выводов. Н. С. Коваль — подготовка текста, формулирование выводов, анализ результатов исследований. Ж. Н. Исабеков — доработка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.